

Conclusion

1 Dynamic constraint reactions can serve as parameters of the state of a mechanical oscillatory system as well as known forms of estimation based on the use of kinematic parameters.

2 The dynamic reaction of the constraints at the selected point of the system is defined in the operator form as the product of the displacement by the unit dynamic stiffness and carries information about the features of the resonance modes and the dynamic damping of the oscillations.

3 Methods of structural transformations are proposed for obtaining dynamic reactions, which are based on the use of the parameters of the feedback chains formed with respect to the selected mass-and-inertia elements.

4 The effect of the maximum of the constraint reaction is discovered, which is physically treated as an increase in the unit dynamic stiffness at the frequency corresponding to the mode of dynamic damping of oscillations.

Список литературы

1 Eliseev, S. V. Applied system analysis and structural mathematical modeling (dynamics of transport and technological machines: connectivity of movements, vibration interactions, lever connections) / S. V. Eliseev. – Irkutsk : Irkutsk State University, 2018. – P. 692.

2 Kuznetsov, N. K. Reduction of dynamic loads in mine lifting installations / N. K. Kuznetsov, A. Y. Pereyagina, S. V. Eliseev // Journal of Physics : Conference Series. – 2018. – Vol. 944(1)012070.

3 Eliseev, A. V. Not-holding connections as a characteristic feature of dynamic interactions of elements of technical systems / A. V. Eliseev, A. I. Orlenko and S. V. Eliseev // Conference of Open Innovation Association, FRUCT. – 2018. – Vol. 21. – P. 100–107.

4 Kashuba, V. B. Dynamical responses in elements connecting's of mechanical oscillation systems / V. B. Kashuba, S. V. Eliseev, R. S. Bolshakov // Systems. Methods. Technologies. – Novosibirsk: Nauka. – 2018. – No. 1(37). – P. 331.

5 Eliseev, A. V. Specific modes of vibratory technological machines: mathematical models, peculiarities of interaction of system elements // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2018. – Vol. 11. International Conference on Mechanical Engineering / A. V. Eliseev, S. V. Eliseev and I. S. Sitov // Automation and Control Systems 2017 – Simulation and Automation of Production Engineering. – 2018. – Vol. 327.

6 Lapshin, V. L. Studies on the dynamics of impact interaction of the mechanoreological model under elastic plastic transformation of its mechanical system / V. L. Lapshin, A. V. Eliseev // Journal of Physics: Conference Series Mechanical Science and Technology Update MSTU. – 2018.

УДК 539.3

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ФУНКЦИЙ ГРИНА В ЗАДАЧЕ О НЕСТАЦИОНАРНЫХ УПРУГОДИФФУЗИОННЫХ КОЛЕБАНИЯХ БАЛКИ ТИМОШЕНКО

У. С. ГАФУРОВ

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

А. В. ЗЕМСКОВ, Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ

НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Рассматривается задача о нестационарных колебаниях балки Тимошенко под действием пары изгибающих моментов. Схема приложенных усилий, а также ориентация осей прямоугольной декартовой системы координат представлена на рисунке 1.

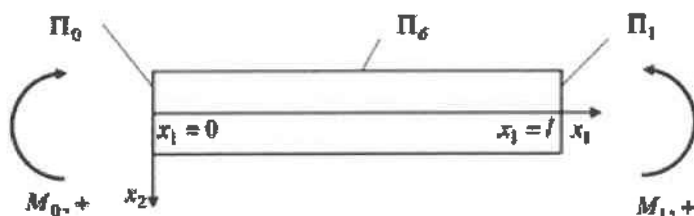


Рисунок 1 – Иллюстрация к постановке задачи

Математическая постановка задачи включает в себя уравнения изгиба балки Тимошенко и уравнение массопереноса [1–3]:

$$\begin{aligned} \ddot{v}(x_1, \tau) - \mu k^2 [v''(x_1, \tau) - \chi'(x_1, \tau)] - \frac{q(x_1, \tau)}{F} &= 0; \\ \ddot{\chi}(x_1, \tau) - \chi''(x_1, \tau) - \frac{F}{J_3} \mu k^2 [v'(x_1, \tau) - \chi(x_1, \tau)] + \sum_{q=1}^N \alpha_q H'_q(x_1, \tau) - \frac{m(x_1, \tau)}{J_3} &= 0; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \dot{H}_q(x_1, \tau) - D_q H''_q(x_1, \tau) - \Lambda_q \chi'''(x_1, \tau) - \frac{z^{(q)}(x_1, \tau)}{J_3} &= 0; \\ \left[\chi'(x_1, \tau) + \sum_{q=1}^N \alpha_q H_q(x_1, \tau) \right]_{x_1=0} &= -\frac{M_0(\tau)}{J_3}, \quad \left[\chi'(x_1, \tau) + \sum_{q=1}^N \alpha_q H_q(x_1, \tau) \right]_{x_1=1} = -\frac{M_1(\tau)}{J_3}; \\ \chi(x_1, \tau)|_{x_1=0} = 0, \quad \chi(x_1, \tau)|_{x_1=1} = 0, \quad H_q(x_1, \tau)|_{x_1=0} = 0, \quad H_q(x_1, \tau)|_{x_1=1} &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь точки обозначают производную по времени. Все величины в (1) и (2) являются безразмерными. Для них приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned} x_i = \frac{x_i^*}{l}; v = \frac{v^*}{l}; \chi = \frac{\chi^*}{l}; \tau = \frac{Ct}{l}; \mu = \frac{\mu^*}{\lambda^* + 2\mu^*}, \lambda = \frac{\lambda^*}{\lambda^* + 2\mu^*}; C^2 = \frac{\lambda^* + 2\mu^*}{\rho}; \alpha_q = \frac{\alpha_{11}^{(q)}}{\lambda^* + 2\mu^*}; D_q = \frac{D_{11}^{(q)}}{Cl}; \\ \Lambda_q = \frac{m^{(q)} D_{11}^{(q)} \alpha_{11}^{(q)} n_0^{(q)}}{\rho R T_0 C l}, \end{aligned} \quad (3)$$

где t – время; x_i^* – прямоугольные декартовы координаты; v^* – прогиб балки; χ^* – угол поворота поперечного сечения относительно оси Ox_1 ; l – длина балки; H_q – приращение концентрации q -й компоненты вещества в составе N -компонентной среды; $n_0^{(q)}$ – начальная концентрация q -го вещества; λ^* и μ^* – упругие постоянные Ламе; ρ – плотность; $\alpha_y^{(q)}$ – коэффициенты, характеризующие объёмное изменение среды за счёт диффузии; $D_y^{(q)}$ – коэффициенты самодиффузии; R – универсальная газовая постоянная; T_0 – температура среды; $m^{(q)}$ – молярная масса q -го вещества; F – площадь сечения; J_3 – момент инерции сечения балки относительно оси Ox_3 ; m – распределённый погонный момент; q – распределённая погонная поперечная нагрузка.

Решение задачи представляется в виде ($k = \overline{1, N+1}$) [2, 3]

$$\begin{aligned} v(x, \tau) &= \sum_{k=1}^{N+2} \int_0^\tau \left[G_{1k}(x, \tau-t) f_{k1}(t) + G_{1k}(1-x, \tau-t) f_{k2}(t) \right] dt + \sum_{k=1}^{N+2} \int_0^1 \int_0^\tau \tilde{G}_{1k}(x, \xi, \tau-t) F_k(\xi, t) d\xi dt; \\ \chi(x, \tau) &= \sum_{k=1}^{N+2} \int_0^\tau \left[G_{2k}(x, \tau-t) f_{k1}(t) - G_{2k}(1-x, \tau-t) f_{k2}(t) \right] dt + \sum_{k=1}^{N+2} \int_0^1 \int_0^\tau \tilde{G}_{2k}(x, \xi, \tau-t) F_k(\xi, t) d\xi dt; \\ \eta_q(x, \tau) &= \sum_{k=1}^{N+2} \int_0^\tau \left[G_{q+2,k}(x, \tau-t) f_{k1}(t) + G_{q+2,k}(1-x, \tau-t) f_{k2}(t) \right] dt + \sum_{k=1}^{N+2} \int_0^1 \int_0^\tau \tilde{G}_{q+2,k}(x, \xi, \tau-t) F_k(\xi, t) d\xi dt. \end{aligned}$$

Здесь $x = x_i$; $F_k(x, \tau)$ – объёмные силовые факторы, входящие в уравнения (1); $f_k(t)$ – поверхностные возмущения, входящие в граничные условия (2); G_{mk} – поверхностные функции Грина, удовлетворяющие уравнениям

$$\begin{aligned} \ddot{G}_{1k} - \mu k^2 (G''_{1k} - G'_{2k}) = 0, \quad \dot{G}_{q+2,k} - D_q G''_{q+2,k} + \Lambda_q G'''_{2k} = 0; \\ \ddot{G}_{2k} - G''_{2k} - \frac{F}{J_3} \mu k^2 (G'_{1k} - G_{2k}) + \sum_{q=1}^N \alpha_q G'_{q+2,k} = 0 \end{aligned}$$

и граничным условиям ($\delta(\tau)$ – дельта функция Дирака):

$$\begin{aligned} G_{1k}|_{x=0} = \delta_{1k} \delta(\tau), \quad G_{1k}|_{x=1} = 0, \quad G_{q+1,k}|_{x=0} = \delta_{q+1,k} \delta(\tau), \quad G_{q+1,k}|_{x=1} = 0; \\ \left(G'_{2k} - \sum_{j=1}^N \alpha_j G_{j+1,k} \right) \Big|_{x=0} = \delta_{2k} \delta(\tau), \quad \left(G'_{2k} - \sum_{j=1}^N \alpha_j G_{j+1,k} \right) \Big|_{x=1} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

\tilde{G}_{mk} – объёмные функции Грина, удовлетворяющие уравнениям

$$\begin{aligned}\ddot{\tilde{G}}_{1k} - \mu k^2 (\tilde{G}_{1k}'' - \tilde{G}_{2k}') + \delta_{1k} \delta(x - \xi) \delta(\tau) &= 0; \\ \ddot{\tilde{G}}_{2k} - \tilde{G}_{2k}'' - \frac{F}{J_3} \mu k^2 (\tilde{G}_{1k}' - \tilde{G}_{2k}) + \sum_{q=1}^N \alpha_q \tilde{G}_{q+2,k}' + \delta_{2k} \delta(x - \xi) \delta(\tau) &= 0; \\ \dot{\tilde{G}}_{q+2,k} - D_q \tilde{G}_{q+2,k}'' + \Lambda_q \tilde{G}_{2k}''' + \delta_{q+2,k} \delta(x - \xi) \delta(\tau) &= 0\end{aligned}$$

и однородным граничным условиям, соответствующим (4).

Для нахождения функций Грина применяется интегральное преобразование Лапласа по времени и разложение в ряды Фурье.

Список литературы

1 Afanasieva, O. A. Unsteady elastic diffusion oscillations of a Timoshenko beam with considering the diffusion relaxation effects / O. A. Afanasieva, U. S. Gafurov, A. V. Zemskov // Proceedings of the second International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics. Springer Nature. – Switzerland: AG, 2019. – P. 193–199.

2 Гафуров, У. С. Модель нестационарных упругодиффузионных колебаний балки Тимошенко / У. С. Гафуров, А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 2. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 134–146.

3 Гафуров, У. С. Алгоритм построения поверхностных функций Грина в задаче о нестационарных колебаниях балки Тимошенко с учетом диффузии / У. С. Гафуров, А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXV Международного симпозиума им. А. Г. Горшкова. Т. 2. – М. : ООО «ТРП», 2019. – С. 55–57.

УДК 621.762.8:539.4.014

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

А. Г. ГЕТМАНОВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В работе представлены результаты исследования механических свойств защитных порошковых покрытий на эпоксидно-полиэфирной основе, нанесенных на стальные подложки. Исследованы как свойства самих покрытий, так и их влияние на поведение образцов при механическом нагружении.

Показано влияние остаточного напряжения на образцах, образованных при нанесении покрытий. Крайне важно иметь экспериментальное подтверждение теоретических результатов. Также в зависимости от толщины подложки и толщины покрытия, материала подложки и покрытия остаточные напряжения могут влиять как незначительно и экспериментально неопределимо, так и значительно, вплоть до визуального эффекта. При нанесении на прямоугольный образец покрытия только с одной стороны образец изгибается. Следует также отметить, что после нанесения покрытия прогиб сразу после нанесения и прогиб спустя несколько дней могут отличаться; данный момент обязательно следует учесть при эксперименте. Прогиб, вызванный нанесенным покрытием, определяется с помощью специальной установки для определения прогиба либо с помощью испытания на трех точечный изгиб. Для определения прогиба изогнутый образец с покрытием устанавливают на жесткую пластину таким образом, что ход образца на графике перемещение – нагрузка до момента касания изогнутого образца с жесткой пластиной останавливал испытание.

Показано, что модуль упругости тонких покрытий оказывается выше, по сравнению с модулем упругости аналогичных объемных материалов. Для обработки результатов испытаний образцов с покрытиями проведены численные и аналитические расчеты. Дана оценка влияния остаточных напряжений на результаты идентификации модуля Юнга покрытий.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 17-01-00837.